

El presente documento solo pretende verter la experiencia propia obtenida en la fabricación de vigas de madera laminada a partir del año 2007, elementos laminados rectos y curvos, mismas que fueron utilizadas en varios proyectos en México desde el 2007 al 2022 donde tuve la oportunidad de desarrollar el producto, aprender a calcular las estructuras de madera y diseñar herrajes, entender los tratamientos con CCA, Sales de Boro, Químicos, sumando también experiencia en montaje en obra solucionando problemáticas comunes que se presentan en obra por falta de visualización del montador o información confusa en los planos estructurales o más aun planos de taller no editados.

Muchos coinciden que la madera es de uso cotidiano en nuestra sociedad y es un producto noble que se puede cultivar a diferencia del concreto y del acero, además que ecológicamente es más favorable para el ambiente que muchos materiales empleados en la construcción, en otras palabras para que se entienda, al sembrar un árbol hasta su madurez media de unos 30 u 40 años genera oxígeno adsorbiendo el monóxido de carbono, al procesarlo empieza a medirse los contaminantes que se generan durante el proceso de transformación dando siempre un número negativo vs otros materiales que si generan una contaminación excesiva. La madera tiene una característica que sobre pasa a otros materiales es autosustentable en un escenario de explotación y reforestación, está presente en muchas partes de la industria y por supuesto aplicándose en arquitectura, etc.

Un poco de historia

El alemán Karl Fredich Otto Hetzer (1846-1911) patentó en 1901 el sistema de viga laminada recta, iniciando de esta forma el desarrollo de la madera encolada, empleando cintas o láminas unidas entre sí por colas de tipo caseína logró obtener una sección prácticamente homogénea y en 1906 patentó el sistema de viga laminada curva, para los años 20 ya existían en Europa muchas construcciones con este tipo de elementos laminados

Max Hanisch (Alemán) se asoció con Hetzer en la firma de Weimar en 1906, donde aprendió la tecnología, emigró a los Estados Unidos en 1923 buscando financiamiento para el desarrollo de las vigas laminadas pero no tuvo éxito por lo que continuó con la práctica de la arquitectura y la ingeniería, para 1934 recibe el encargo de proyectar una escuela y un gimnasio para la ciudad de Peshtigo en Wisconsin, en el proyecto propone arcos laminados, pero la comisión no le bastaron los 30 años de experiencia en la aplicación de elementos laminados en Europa, Max Hanisch y Unit Structures no pudieron convencer a la comisión, recurrieron a Forest Products Laboratory (FPL) sin tener éxito, finalmente se alcanzó un compromiso donde los arcos de madera laminada se reforzaban con pernos, bridas y ángulos dispuestos a intervalos regulares a lo largo de los arcos

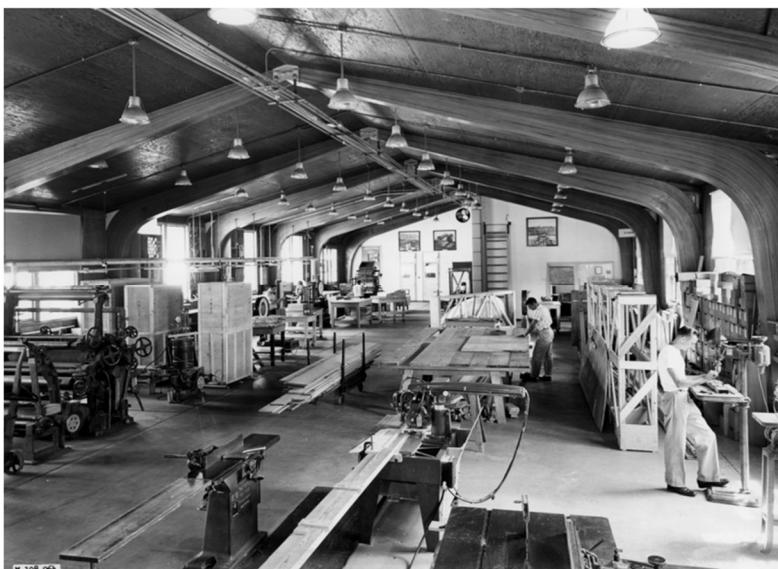
Forest Products Laboratory también se interesó por los elementos laminados y tenían en mente la construcción de un edificio del laboratorio, encargaron a Unit Structures, el diseño consistió en arcos, uno de ellos era sección rectangular mismo que se volvió típico en estados unidos, los otros arcos

laminados fueron doble "T" utilizando almas de tablero contrachapado (triply) con alas de madera laminada y varios arcos con alma alveolada con conectores de anillo y pernos (1934-1935).

Desde entonces este material ha tenido un gran desarrollo en todo el mundo y hoy en día, la madera laminada encolada casi no encuentra restricciones en su empleo en la construcción de edificios de diversas escalas.



Construido en 1934 el Laboratorio de Productos Forestales, Madison, Wisconsin, unos de los primeros construidos con vigas laminadas encoladas, arqueado, diseñado y construido utilizando principios de ingeniería.



El interior de ese mismo edificio del Laboratorio de Productos Forestales años posteriores, que muestra los arcos originales de madera laminada. 76 años después el edificio finalmente fue clausurado en 2010, pero los arcos se mantuvieron en buen estado.

Se realizaron ensayos a escala real mediante la aplicación de sacos de arena con un peso de 14288 kg, excediendo un 50% de las especificaciones de cálculo, las deformaciones resultaron muy favorables. Además, se realizaron ensayos destructivos sobre un número extra de arcos aplicando carga con una máquina de 453.61 toneladas (1,000,000 lb), También los resultados fueron muy satisfactorios. Estos resultados positivos fueron determinantes para convencer a las autoridades, arquitectos, ingenieros y otros escépticos sobre el uso estructural de la madera. Los resultados fueron publicados en octubre de 1939 (USDA Technical Bulletin No 691, The glued laminated wooden arch by TRC Wiison, FPL)



Pruebas de glulam en Forest Products Lab, 1934.

Unit Structures y su escepticismo comenzó a desaparecer. Las dificultades que Max Hanisch encontraba pudieron deberse también al hecho de ser extranjero y no dominar el inglés. De hecho, a finales de años 30 su secretario actuaba como interprete.

En 1936 el arquitecto Edgar A. Stubenrauch proyectó un edificio público para la comunidad de Pittsville, Wis. Para la estructura de la cubierta había previsto arcos de acero, pero fue persuadido por Unit Structures para considerar los arcos de madera laminada como una alternativa.

Ambas soluciones fueron analizadas económicamente resultando la madera con un costo inferior. Se construyó con los arcos de Unit Structures y todavía se encuentra en uso.

¿Cómo fue posible un costo inferior para la madera? Los arcos de madera laminada no solo servían como estructura de la cubierta, sino que además cumplían con la función estética de terminación interior. No era preciso añadir un revestimiento para lograr un acabado fino, como ocurre en el caso del acero. Además, la madera es más resistente al fuego que el acero, y no requiere añadir los costes de protección del acero. Al considerar estos costos adicionales, el resultado fue más favorable para la madera.

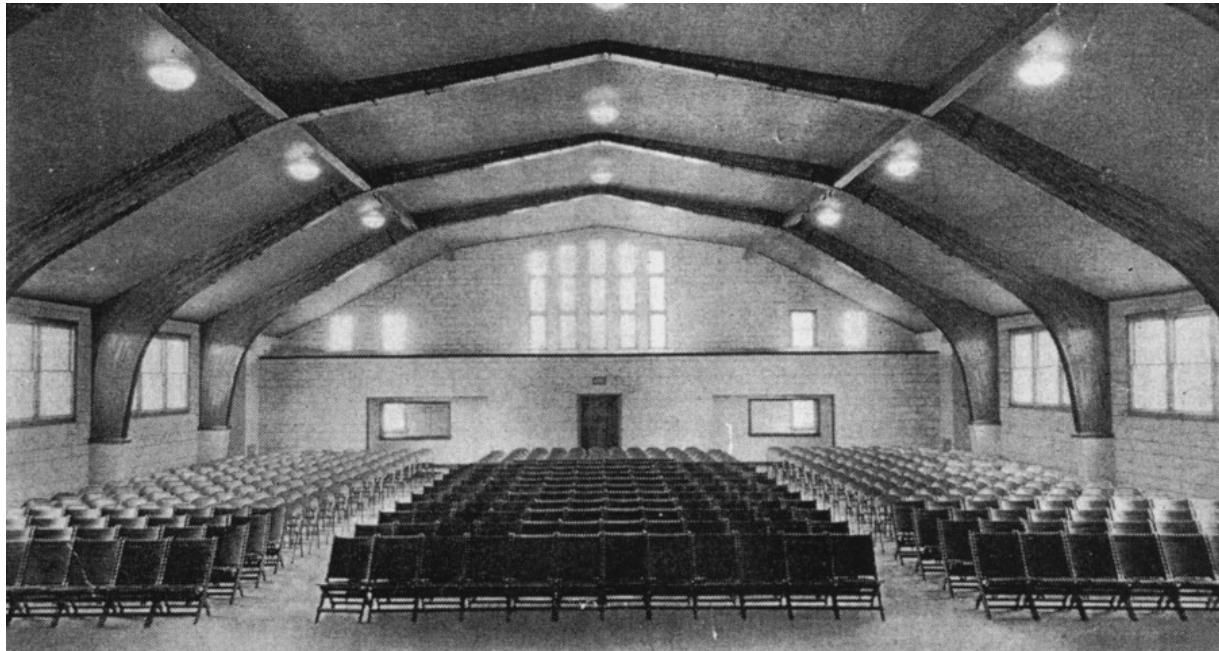
El desarrollo en el Oeste

A partir de la aceptación y expansión de la industria del laminado en el medio oeste, comenzaron a interesarse las empresas de la construcción con madera del oeste. Dos empresas dedicadas a la fabricación de cerchas de madera, Summerbell Roof Structures y Timber Structures, inc., Deseaban incluir a su línea de productos la madera laminada encolada y terminaron fabricando bajo licencia de Unit Structures.

Poco después de que Estados Unidos entrara en la Segunda Guerra Mundial, el gobierno se dirigió a la firma Timber Structures, Inc., para saber si estarían dispuestos a suministrar madera laminada encolada para ayudar en el esfuerzo que exigía la guerra. También se dirigieron a la empresa Unit Structures para pedirles si podían enseñar la técnica de la fabricación a Timber Structures para ayudar a un final favorable de la guerra. Unt Structures aceptó.

Récords alcanzados

En 1938, Unit Structures fabricó unos arcos que salvaban una luz libre de 36.5 m para una edificación de uso agrícola en Gustavus Adolphus Collage eb St. Petr Minn. Fue la mayor luz en América en su tiempo. Con el incremento de la actividad en la aviación, las líneas aéreas pensaron en la madera laminada para la construcción de los hangares. Los hangares debían ser cada vez más grandes, debido a que los aviones eran también cada vez mayores.



interior del gimnasio de la escuela terminado de Peshtigo, Wisconsin.

Segunda Guerra Mundial

Se estima que se ahorraron 362,880 toneladas de acero estructural al construir con madera en 1942. Esto sin incluir el ahorro que suponía la construcción con madera laminada encolada. En 1944, AN Carter escribió en un artículo de la revista Scientific American, "pocos materiales han jugado un papel más importante o versátil en el programa de construcción de la guerra en América que la madera. No sólo se utilizaba para la edificación sino también para pallets, cajas para transporte de armas y construcción de barcos. Los famosos botes PT estaban construidos con un entramado de madera y tablero contrachapado. El avión más grande de esa época Howard Hughes Spruce Goose estaba construido con madera.

Al cabo de un mes del ataque de Pearl Harbor, el vicepresidente de Unit Structure, A. S. Friedman dijo: A partir de junio del año 1941 comenzamos a trabajar para el ejército la armada y las fuerzas aéreas. Hemos construido veinte edificios para el ejército, dos laboratorios de ensayos, un edificio recreativo en Great Lakes, Ill, una sala en Newport. R. I. También fabricamos arcos de madera laminada para un hangar de aviones y cuatro almacenes en Wright Field, Dayton, Ohio"

Meses antes de la entrada de los Estados Unidos en la guerra, ya estaban preparándose; la madera laminada sustituía al acero en la construcción. La guerra sirvió para la aceptación de la madera laminada en la construcción. Debido a las restricciones que existían para el acero, la madera constituía

una alternativa muy adecuada. Resistente, fácil de trabajar y de instalar, Su peso es considerablemente inferior al del acero por lo que requiere grúas más pequeñas para su colocación en obra.

A unit Structures le pidieron que fabricara cerchas de madera aserrada para varias construcciones militares. Pero lograron convencer a los planificadores cambiar a arcos y vigas de madera laminada encolada, con el fin de afianzar su propia expansión. El trabajo añadido obligaba a recurrir a la planta de Peshtigo en varias ocasiones durante la guerra. Se aumento la plantilla e incluso crearon una fábrica provisional en Sayville NY cuya producción estaba dirigida exclusivamente al esfuerzo de la defensa en la guerra.

Este aumento de la producción durante la guerra también afectó a otros fabricantes como Rilco Laminated Products y Summerbell Roof Structures. Esta última empresa realizó una obra en la que gastó más de un millón de pies tablares de madera aserrada para la construcción de un edificio en una nueva base militar, trabajando al lado de la misma obra.

En varias ocasiones, se llegó a fabricar la madera laminada encolada en misma obra para acelerar los plazos de construcción. Las construcciones que resultaban, sin el control de las condiciones que existen en una fábrica, no pasaban de ser provisionales en el mejor de los casos. En el libro de Giner de la historia de construcción militar en la segunda guerra mundial dijo: madera verde... y la baja calidad del encolado produjeron deformaciones y delaminaciones en muchos de los arcos fabricados a pie de obra, en 1942 se construyeron dos hangares para aviones en el aeropuerto de St. Paul La luz libre era de 52 m un nuevo récord mundial y una altura de 15 m. los hangares tenían 183 m de longitud y cada uno estaba soportado por 60 arcos como era habitual en muchas de las construcciones en tiempo de guerra, se construyeron como edificaciones temporales con una vida esperada de tan solo 5 años. Ambos se encuentran en servicio todavía.

La tecnología ya establecida

Uno puede preguntarse si no hubiera existido la segunda guerra mundial y por lo tanto no se hubiera producido una aceleración y crecimiento del mercado tan importante. Si la madera laminada hubiera continuado su crecimiento posterior. En realidad, lo que hubiera ocurrido es que la aceptación del nuevo material habría sido más lenta, pero no cambiaría el hecho de que la madera es un material rápidamente disponible y de gran utilidad. Antes de la guerra el desarrollo era firme pero lento.

En la época de la muerte de Max Hanisch el 24 de junio de 1950 la industrial de la madera laminada ya se encontraba afianzada en los Estados Unidos de América. Tenía una base sólida y era ampliamente reconocida como un producto de construcción de primera clase. Unit Structures estaba preparada para capitalizar esta aceptación en el mercado y estableció planes para incrementar las

plantas de producción. Summerbell, Rilco y Timber Structures estaban floreciendo y otras empresas entraron en este campo.

Texto: History on its origins and early development, Forest Products Journal 1996, Es un resumen de su tesis, de igual título, presentada en 1995 en el Departamento de historia de la Universidad de Minnesota (EEUU) Rhude, Andreas Jordahl

Con referencia a la experiencia obtenida durante el desarrollo del producto laminado fue lo siguiente:

- Conocer las propiedades mecánicas de la madera tanto a tensión, flexión, cortante
- Diferentes especies en el mercado nacional, así como de importación y que se utilizaron para hacer vigas laminadas

Pino nacional, Encino nacional, Machiche, Palo de Rosa, Pino del sur, Tornillo, Cedro rojo, Encino Blanco, Encino Rojo, Cumáru.

- Defectos típicos de la madera: avaleo, pandeo, torción, gemas, albura, resinas, ojos etc.
- Secado de la madera al aire.
- Secado de la madera mediante estufas
- Tratamientos típicos de la madera: CCA + porcentajes según su uso, Sales de boro, tratamientos químicos
- Agentes que atacan o destruyen la madera: Polilla, hongos, etc.
- Pruebas o ensayos según la norma ASTM
- Tipo de pegamentos usados para vigas de madera laminada

En su momento se consiguieron varios tipos de pegamentos que prometían un adecuado comportamiento para realizar vigas de madera laminada, solo dos de los 5 tipos de pegamentos cumplían con las especificaciones de correctas para uso estructural, se llevan a cabo la fabricación de vigas laminadas con la siguiente sección de 10 de grueso por 25 cm de peralte y 320 cm de largo en madera de pino estufada, el finger joint (junta de dedos) se consiguió uno muy sencillo de poca profundidad pero mantenía hasta cierto punto estable la unión para el manejo de las láminas.

Las primeras vigas con pegamento D3 sufrieron delaminaciones al someterlas al agua, aunque la resistencia se acercaba mucho a lo esperado, lo mismo ocurrió con otros dos tipos de pegamento formulados con dos componentes.

El cuarto lote de vigas soportó bien, las pruebas de humedad, impacto, combustión solo que la duración de prensado era de 24 horas

El quinto lote de vigas soportó bien las pruebas de humedad, impacto, combustión, y el tiempo de prensado fue en promedio de 3 horas este lote se llevó al laboratorio de materiales de la UNAM donde se llevaron a cabo los ensayos correspondientes dando un buen resultado de adherencia le pegamento tipo estructural, al mismo tiempo se fabricaron vigas I de madera para uso de cimbra arrojando un excelente resultado.